



**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Curso de Engenharia de Energia**

**Influência do Material Particulado na Geração de  
Energia Elétrica Fotovoltaica**

**Autor: Igor Silva Salsano  
Orientador: Augusto César de Mendonça Brasil**

**Brasília, DF  
2018**



**Igor Silva Salsano**

**Influência do Material Particulado na Geração de Energia Elétrica Fotovoltaica.**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Augusto César de Mendonça Brasil

**Brasília, DF  
2018**

**CIP – Catalogação Internacional da Publicação\***

Salsano, Igor Silva.

Influência do Material Particulado na Geração de  
Energia Elétrica Fotovoltaica/ Igor Silva Salsano Brasília:  
UnB, 2013. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia De Engenharia de Energia – Universidade de  
Brasília

Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Augusto  
César de Mendonça Brasil

1.Particulado. 2. Energia Fotovoltaica. 3. Placa Solar.  
Brasil, Augusto César. II. Influência do Material Particulado  
na Geração de Energia Elétrica Fotovoltaica.

CDU Classificação



## **Influência do Material Particulado na Geração de Energia Elétrica Fotovoltaica.**

**Igor Silva Salsano**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 29 de Novembro de 2018, apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof Dr Augusto César de Mendonça Brasil, UnB/FGA**  
Orientador

---

**Prof Dr Luciano Gonçalves Noletto UnB/FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof Dr Jorge Andrés Cormane Angarita UnB/FGA**  
Membro Convidado

Brasília, DF  
2018

No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a toda minha família pelo apoio e carinho sempre presentes. Principalmente aos meus pais e irmã, Dieli, Osvaldo e Luíza. E também a todos os familiares, que estejam por perto ou não, todos ajudaram de alguma forma mesmo que de forma indireta. Um agradecimento especial a Simone, que serviu e serve de exemplo de coragem e esperança para qualquer um que a conheceu.

Agradeço também aos professores e todos os profissionais que trabalham na FGA que possibilitaram a realização do curso nesses últimos anos. Em especial o Prof. Dr. Augusto César Brasil por me acompanhar e orientar nessa reta final.

Agradeço a Jessica por ser minha companheira por tantos anos e me ajudar em todos os momentos de preocupação e de alegria. Que sempre me apoiou e me ouviu sempre que precisei.

Por fim, agradeço aos amigos, Gabriella, Maria, Andressa, Jéssica, Fábio, Diego, Guilherme, Maria Luíza, Thaís e tantos outros por me aguentarem e me ajudarem sempre que precisei. Muito obrigado.

## RESUMO

Com a alta demanda de energias renováveis ao redor do mundo, influenciada pela preocupação com o meio ambiente, falta de outras fontes não renováveis ou até redução de valores, a energia solar vem recebendo uma atenção cada vez maior e cresceu no decorrer dos últimos anos, podendo ainda crescer muito. O incentivo para fontes de energias renováveis vem crescendo e com isso novos estudos são realizados para aumentar ou aperfeiçoar a geração. Algumas conferências internacionalmente conhecidas também têm como objetivo a criação e uso de novas fontes, a principal delas foi a Cúpula da Terra ou Rio-92 que segue com reuniões ao decorrer dos anos para verificar o desenvolvimento ocorrido. O território brasileiro tem uma vasta área e é favorável para a geração de energia solar, mesmo no sul, com incidência solar menor, ainda é maior que muitos dos principais países com alta utilização de placas fotovoltaicas. Tendo em vista a facilidade de encontrar e ocorrer o depósito de particulados nas placas solares em todo o território brasileiro, o trabalho procura esclarecer a influência dessas partículas na geração de energia elétrica fotovoltaica, se causam grandes perdas, mau funcionamento e até prevenção e principais causas de depósito de particulados.

**Palavras-chave:** Particulado, Placa solar, Energia fotovoltaica, Influência, Geração.

## **ABSTRACT**

With the high demand for renewable energies around the world, influenced by concern about the environment, lack of other non-renewable sources or even reduced values, solar energy has received increasing attention and has grown over the last few years, and can grow a lot. The incentive for renewable energy sources has been growing and new studies are being carried out to increase or improve generation. Some internationally known conferences also have the objective of creating and using new sources, the main one being the Earth Summit or Rio-92 that follows meetings over the years to verify the development. The Brazilian territory has a large area and is favorable for the generation of solar energy, even in the south, with lower solar incidence, is still higher than many of the main countries with high use of photovoltaic panels. Considering the ease of finding and occurring the deposition of particulates in solar panels throughout the Brazilian territory, the work seeks to clarify the influence of these particles in the generation of photovoltaic electric energy, if they cause great losses, malfunction or even prevention and main causes of deposit of particulates.

Keywords: Particulate, Solar panel, Photovoltaic energy, Influence, Generation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Recursos energéticos totais da Terra.....	1
Figura 2. Incidência Solar Mundial.....	2
Figura 3. Radiação solar média no Brasil.....	3
Figura 4. Radiação solar Brasileira média sazonal.....	4
Figura 5. Irradiação solar média em Brasília.....	5
Figura 6. Radiação solar refletida.....	6
Figura 7. Radiação transmitida pela atmosfera .....	10
Figura 8. Mapa de concentração de particulados.....	12
Figura 9. Tamanhos de diferentes tipos de particulados.....	13
Figura 10. Comparação de placas antes e depois da limpeza.....	16
Figura 11. Comparação de potência antes e depois da limpeza.....	16
Figura 12. Especificações técnicas da placa solar.....	17
Figura 13. Modelo utilizado de placa solar.....	18
Figura 14. Esquema de montagem do circuito usado.....	18
Figura 15. Placa ligada aos multímetros e resistência.....	19
Figura 16. Local de realização do experimento.....	19
Figura 17. Estrutura montada para o experimento.....	20
Figura 18. Comparação entre placa limpa e placa com particulados.....	22
Figura 19. Comparação de potência entre placa limpa e placa com particulados.....	24
Figura 20. Porcentagem de perda de potência entre placa e limpa e placa com particulados.....	25

Figura 21. Imagens dos particulados obtidas por microscopia ótica.....	26
Figura 22. Tabela de medidas dos particulados obtidas por microscopia ótica.....	26
Figura 23 – Gráfico com medidas de diâmetro dos particulados.....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS

BEN – Balanço Energético Brasileiro.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

CRESESB – Centro de referência solar e eólica Sergio de Salvo Brito.

Ibiam – Instituto Brasília Ambiental.

MP – Material Particulado.

MME – Ministério de Minas e Energia.

PTS – Partículas totais em suspensão.

UED – Unidade de ensino e docência.

UNB – Universidade de Brasília.

UV – Ultra Violeta.

$\mu\text{m}$  – Micrômetro.

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivo Geral .....</b>	<b>8</b>
2.1. Objetivos específicos .....	8
<b>3. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>9</b>
3.1. Energia Solar .....	9
3.2. Radiação solar .....	9
3.3. Particulados .....	11
3.4. Classificação .....	12
3.5. Influência na incidência solar .....	14
<b>4. Metodologia.....</b>	<b>17</b>
<b>5. Resultados e Discussão.....</b>	<b>23</b>
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>28</b>
<b>7. Bibliografia .....</b>	<b>30</b>

## 1. Introdução

Os costumes e qualidade de vida mudam de tempos em tempos, atualmente, o símbolo de desenvolvimento mundial é a tecnologia; equipamentos militares, grandes fábricas, hospitais bem equipados ou até mesmo carros mais velozes, eletrodomésticos e celulares com funcionalidades cada vez maiores. Toda essa tecnologia e desenvolvimento está de algum modo, ligado à energia.

Na produção e confecção ou simplesmente no uso de cada equipamento, a energia é necessária para que se obtenha o produto final em várias etapas do processo de fabricação e também na utilização em si.

Segundo o Ministério de Minas e Energia [MME, 2016], toda a energia utilizada pela humanidade poderia facilmente ser suprida pela energia liberada pelo sol, como mostra a figura 1. Infelizmente a captação média é baixa e as placas convertem cerca de 20% do valor recebido, em energia elétrica, quantidade que ainda assim, seria suficiente para o consumo atual.

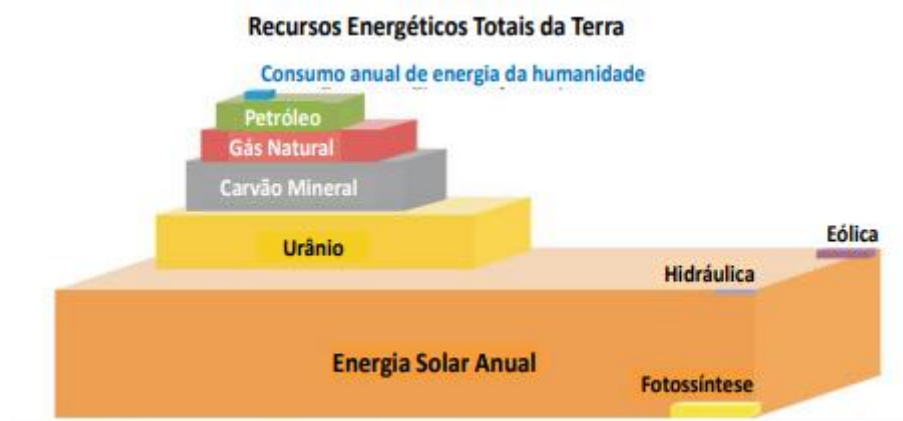


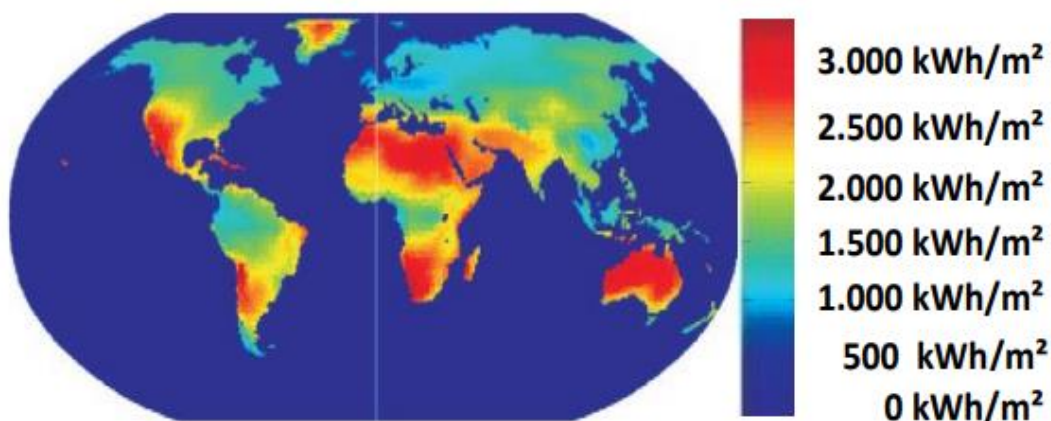
Figura 1 – Recursos energéticos totais da Terra (Fonte: MME, 2016)

As principais fontes de energia mundial são divididas em dois grupos, energias renováveis e não renováveis. As renováveis são aquelas em que se pode manter o uso sem o seu esgotamento, sua renovação é natural e suficiente para suprir a demanda atual. Já as não renováveis são, teoricamente, limitadas. [PORTAL ENERGIA, 2015]

Ao redor do mundo certas regiões possuem mais abundância de recursos energéticos do que outras. Isso se deve às características naturais das regiões da Terra, e consequentemente diferenciando as matrizes energéticas dos países.

A matriz energética brasileira é principalmente formada por 56,5% de fontes não renováveis, sendo óleo e gás as mais usadas e 43,5% de fontes renováveis, que são principalmente etanol e bagaço, lenha e carvão vegetal e a hidráulica. [MME, 2017; BEN, 2017]

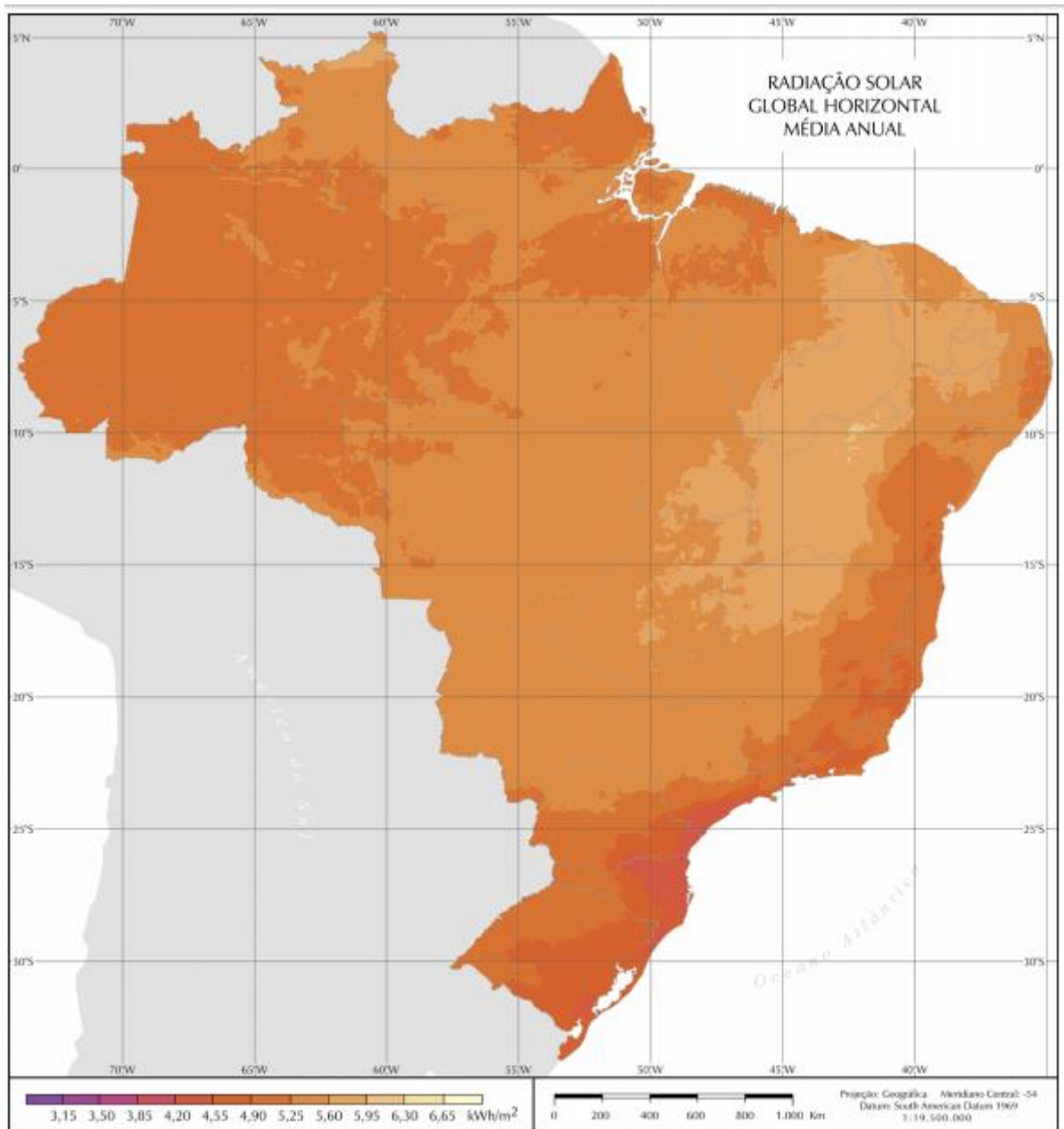
A energia solar pode ser convertida diretamente em eletricidade por placas fotovoltaicas. Atualmente, a eficiência das células solares em média 10% para células de baixa eficiência e 20% para células de alta eficiência. A eficiência média das células fotovoltaicas vem aumentando significativamente nos últimos anos. O Brasil tem potencial para se tornar uma das principais fontes de geração energética com a grande área que o país possui e a alta incidência de sol, que mesmo nos locais de menor incidência ainda são altas em relação a outros países e do mundo (Figura 2). [MME, 2016]



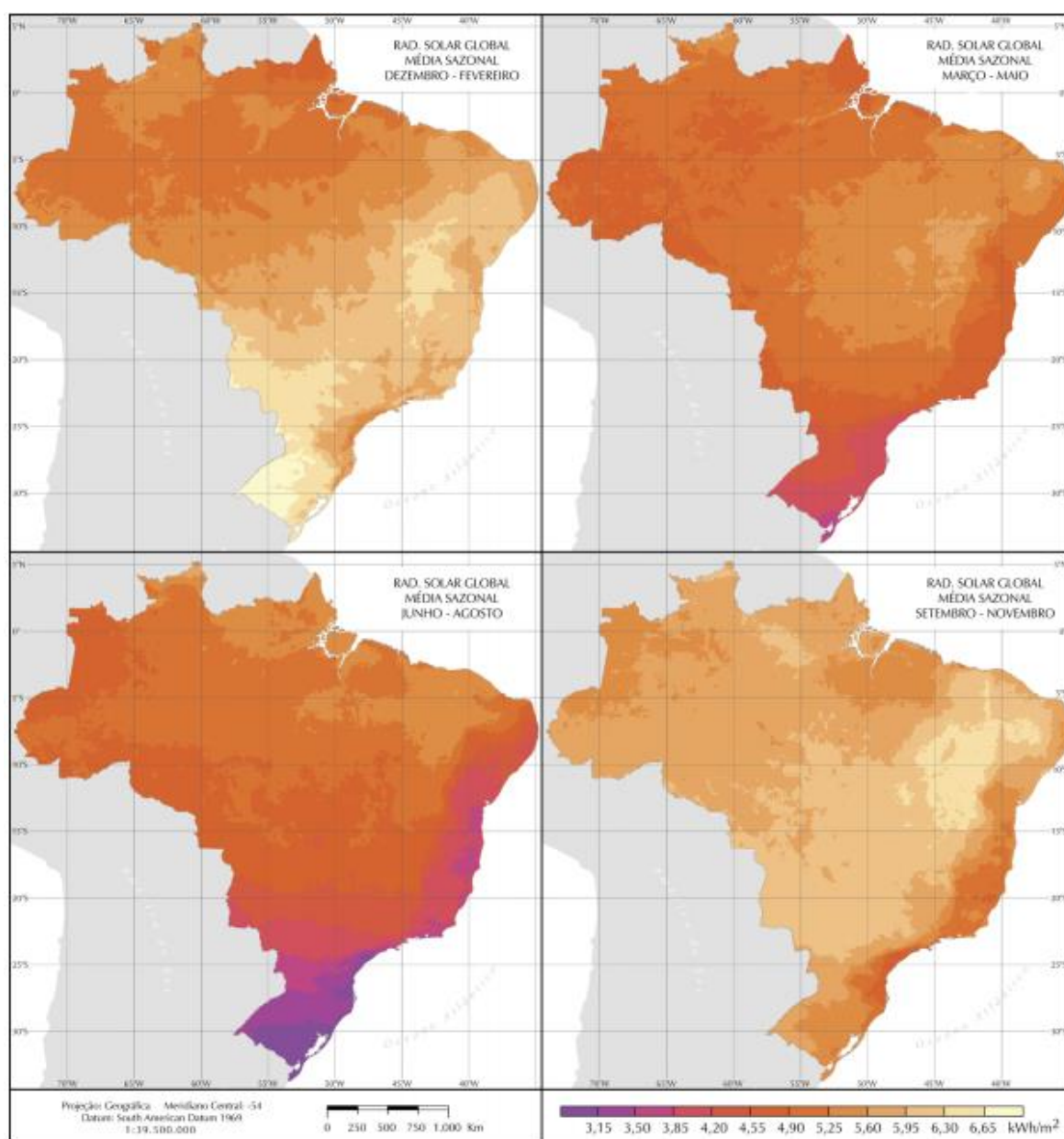
**Figura 2 – Incidência Solar Mundial (Fonte: MME, 2016)**

O território Brasileiro possui uma incidência de radiação solar considerável, tornado viável a energia fotovoltaica na grande maioria das regiões do país. No Atlas Solar Brasileiro (Figura 3 e 4) é possível notar esse nível de incidência no território brasileiro, onde pode-se observar uma média anual acima de 4,0 kWh/m<sup>2</sup> em grande

parte do território. E é possível observar a incidência ao decorrer de quatro intervalos de tempo ao decorrer do ano.



**Figura 3 - Radiação solar média no Brasil (Fonte: PEREIRA ET. AL. 2006)**



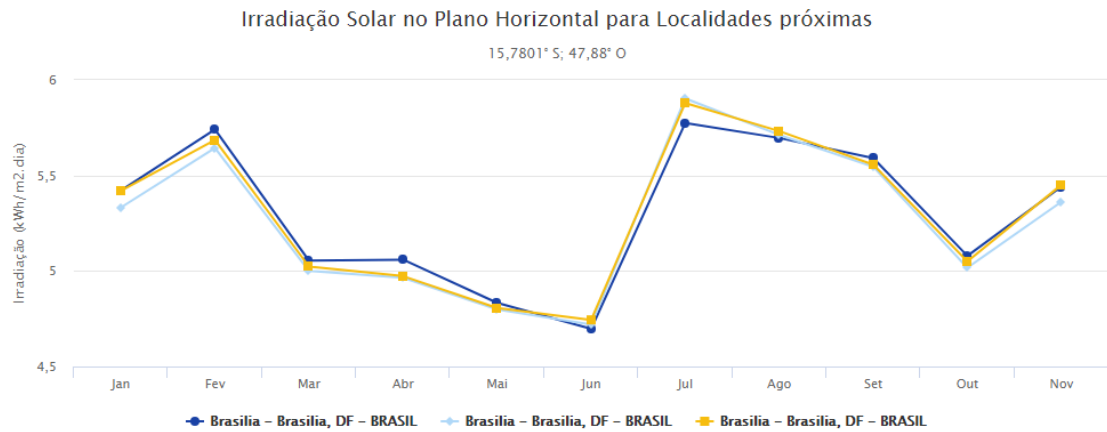
**Figura 4 – Radiação solar Brasileira média sazonal (Fonte: PEREIRA ET. AL. 2006)**

A média de irradiação no Distrito Federal passa dos 5,2 Kw/m<sup>2</sup> e mesmo no inverno não tem valores médios menores que 4,5 Kw/m<sup>2</sup>, fato que confirma a grande capacidade de geração fotovoltaica local segundo o Cresesb (2018), Centro de referência para as energias solar e eólica Segio de S. Brito, que monitora e informa esses dados para o território brasileiro, na figura 5 é possível observar os valores mensais e médios de Brasília, pela coordenada 15,78' sul e 47,88' oeste.



Latitude: 15,7801° S  
Longitude: 47,88° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,801° S	47,849° O	4,1	5,42	5,74	5,05	5,06	4,83	4,70	4,95	5,77	5,70	5,59	5,08	5,44	5,28	1,08
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,801° S	47,949° O	7,7	5,33	5,64	5,00	4,97	4,80	4,72	5,02	5,90	5,71	5,55	5,02	5,36	5,25	1,18
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,701° S	47,849° O	9,4	5,42	5,69	5,02	4,97	4,81	4,74	5,04	5,88	5,73	5,56	5,05	5,45	5,28	1,14



**Figura 5 – Irradiação solar média em Brasília (Fonte: Cresesb, 2018)**

Essa incidência de radiação solar e consequente potencial de geração de energia solar, porém, pode diminuir com a dispersão da radiação no percurso entre a atmosfera terrestre e a superfícies receptora. A radiação solar, até chegar nas placas para a conversão de energia, pode ser absorvida ou refletida devido à concentração de partículas na atmosfera terrestre, ou depositadas na superfície das placas. Um exemplo da parcela dessa dispersão é apresentado na figura 6.



**Figura 6 – Radiação solar refletida (Fonte: GALVANI, 2014)**

A reflexão pode ser quantificada por uma variável que é influenciada principalmente pelo comprimento de onda da radiação. O coeficiente de reflexão da superfície ou Albedo pode ser um fator importante para a geração fotovoltaica, visto que em nuvens espessas esse coeficiente pode chegar a uma porcentagem de reflexão de 80% e diminuir a radiação recebida pela placa. Superfícies como a neve, por exemplo, esse valor chega a 95%, o que em alguns estudos é interessante, onde a radiação é redirecionada para locais de interesse. [GALVANI, 2014]

A quantidade de estudos em relação às placas fotovoltaicas também tem crescido, as placas fotovoltaicas são feitas com células de silício ou similares que conseguem gerar energia elétrica ao receberem as partículas de luz solar, conhecidos também como fótons. Existem diferentes tipos de placas que podem ser usadas, assim como fatores que influenciam em muito na geração da energia elétrica, parte desses fatores será abordada nos capítulos à frente. [PORTAL SOLAR, 2017A]

Para geração de energia solar fotovoltaica, além da placa em si, é necessário também que um inversor seja usado e em alguns casos uma bateria, dependendo de como o proprietário deseja que seja feita a sua instalação. As instalações podem ser ligadas à rede elétrica local ou não e são chamadas de on-grid e independente

respectivamente. Cada uma com mudanças em relação ao uso e destino do excesso da energia elétrica gerada.

A eficiência de geração de energia elétrica está diretamente ligada a quantidade de fótons que incidem sobre a placa. Cada corpo que fica entre o caminho tomado pela radiação acaba sendo uma barreira para essa geração. Qualquer radiação refletida nesse caminho, de volta para o espaço, também é perdida.

As características citadas acima de diminuição da radiação solar incidente devido à dispersão, influenciam na geração de energia fotovoltaica. Portanto, estudos da influência desse fenômeno na geração fotovoltaica, são importantes especialmente para países como o Brasil, sendo possível quantificar a perda por reflexão e absorção, e consequente aumento da geração e eficiência da energia solar fotovoltaica.

Sendo assim, estudos nesse tema devem abordar a dispersão da radiação solar não apenas no caminho das ondas eletromagnéticas entre a atmosfera terrestre e os painéis fotovoltaicos, mas também na diminuição da radiação incidente devido aos depósitos na própria placa. As partículas que depositados sobre os painéis fotovoltaicos, são provenientes de poeiras, poluição atmosférica e material particulado do próprio ambiente natural.

Vários estudos apontam a influência de deposição de fungos e poeira, comparando sistemas com, ou sem, procedimento de limpeza. Esses estudos serão apresentados no capítulo da Revisão Bibliográfica.

Como abordado acima, devido à diminuição de radiação solar pela dispersão, é possível notar os fatores que influenciam a eficiência das placas solares. Os materiais particulados são parte dessa porcentagem de diminuição da radiação incidente e até certo ponto podem ser corrigidos pelos próprios usuários com procedimentos de limpeza dos painéis. Portanto, estudos sobre a influência percentual da diminuição da geração elétrica fotovoltaica, causada pela deposição de material particulado, são de grande interesse e relevância para o atual cenário brasileiro.

## **2. Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é analisar a influência do material particulado depositados nos painéis fotovoltaicos, na diminuição da energia solar fotovoltaica gerada nos painéis, bem como, se existem procedimentos de limpeza que corrigem tal diminuição da energia gerada.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Identificar e analisar os diâmetros as partículas depositáveis em painéis fotovoltaicos
- Quantificar a geração de energia solar por painéis fotovoltaicos, com e sem procedimentos de limpeza
- Determinar o percentual de energia abatido pela deposição e ganhos com procedimentos de limpeza.

### **3. Revisão Bibliográfica**

#### **3.1. Energia Solar**

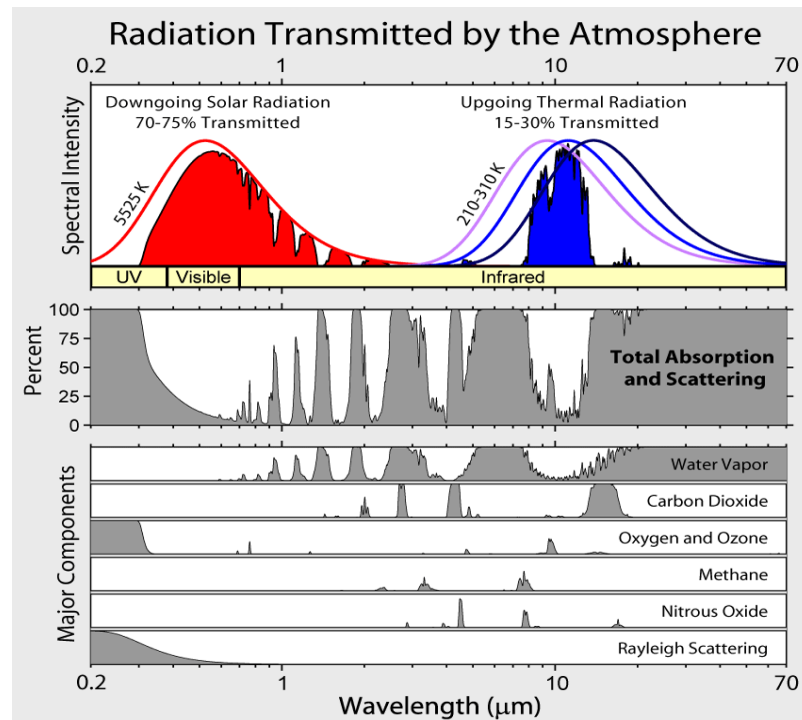
A utilização de energia solar e a sua conversão em energia elétrica tem diferentes conceitos e certa complexidade para serem entendidos, os principais fatores a serem analisados podem ser separados nos seguintes: Classificação do sistema, radiação solar, células e painéis fotovoltaicos.

#### **3.2. Radiação solar**

A fonte de energia usada nas placas fotovoltaicas é a radiação solar, grande parte das atuais geradoras a utilizam de forma direta (geração fotovoltaica), mas há também sistemas que transformam a energia solar indiretamente ao utilizá-la termicamente.

As ondas eletromagnéticas produzidas na superfície do sol constantemente e viajam através do espaço até o planeta Terra. A quantidade de energia recebida é influenciada por alguns fatores, como a posição geográfica, formato do corpo receptor, inclinação da superfície, e época do ano, além de condições locais. Segundo Tavares (2000), a geração energética do sol é de  $4 \times 10^{23}$  quilowatts de potência por segundo, porém, nem toda essa energia chega a superfície terrestre.

A maioria dessas ondas eletromagnéticas recebida, cerca de 97%, é caracterizada como radiação de onda curta, pois se encontra entre os limites de 0,3 a  $3,0 \mu m$ . [FADIGAS, 2017]



**Figura 7 – Radiação transmitida pela atmosfera (Fonte: REAL CLIMATE, 2014)**

Por tais motivos existem os métodos mais eficientes de se instalar uma placa solar, analisando o azimuth, direção e local para que sua geração seja a maior possível. Na figura 7 a radiação pode ser separada em diferentes intensidades de espectro, espectro visível, infravermelho e UV.

O potencial de geração de energia solar fotovoltaica depende diretamente da radiação solar incidente e da eficiência do painel fotovoltaico.

### 3.3. Particulados

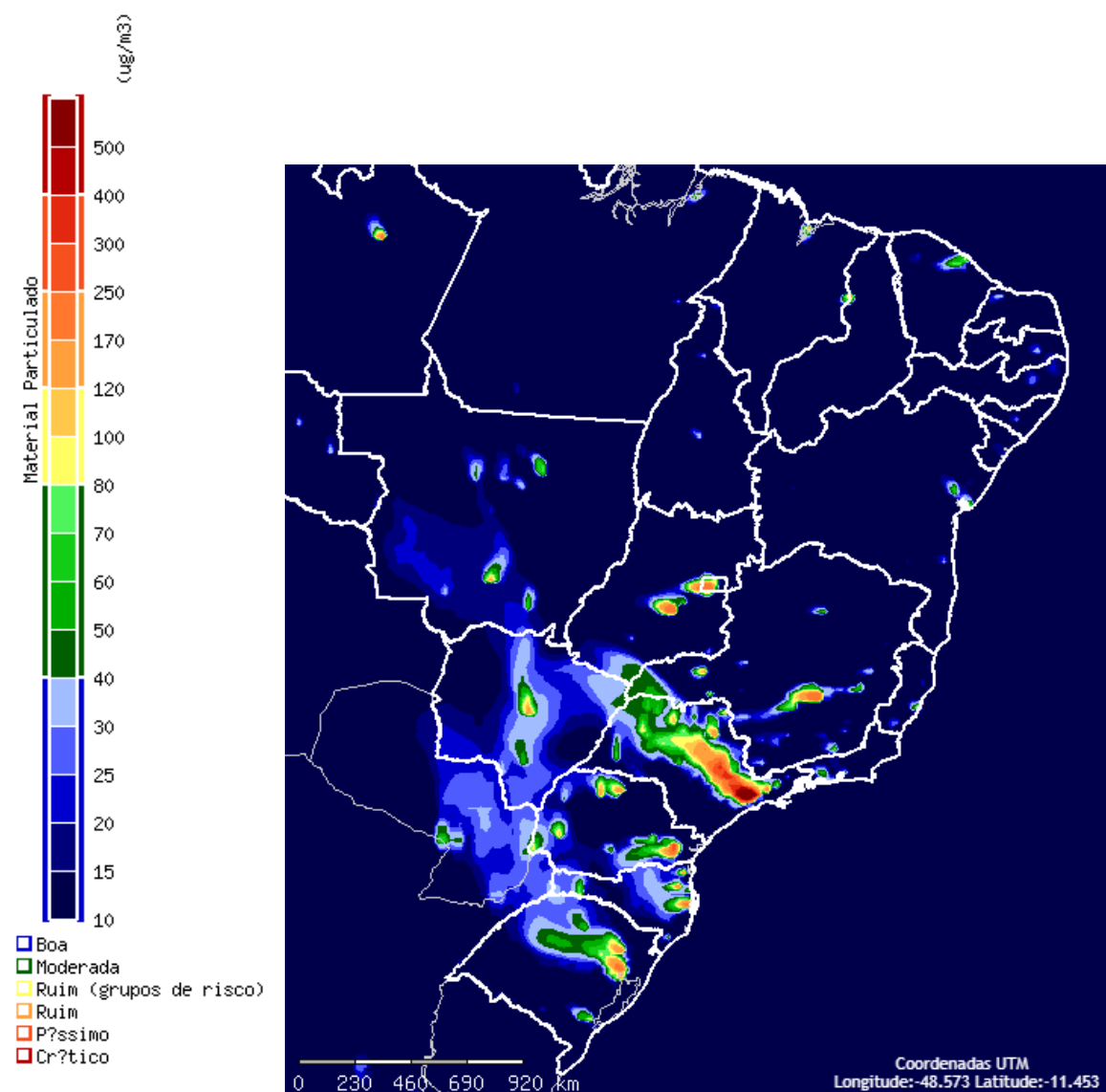
Para Lorena e Martins (2016) materiais particulados (MP) são pequenas partículas de materiais que podem ser líquidos ou sólidos, e podem estar na forma de poeira, nuvens, neblina, fumaça e outras que tenham o tamanho menor que 100 micrometros ( $\mu\text{m}$ ).

Podem ser divididas de acordo com o tamanho: Acima de  $2,5 \mu\text{m}$ , é chamado de grosso, abaixo de  $2,5 \mu\text{m}$  é chamado de fino. São compostos de diversos componentes, diminutos suficiente para permanecer suspensos na atmosfera. Geralmente uma mistura complexa de compostos orgânicos e inorgânicos. [LORENA; MARTINS 2016]

A principal preocupação do material particulado é relacionado a doenças, um dos maiores causadores de doenças respiratórias atualmente, pelo seu tamanho reduzido é facilmente inalado e dependendo do componente pode penetrar rapidamente no corpo. E está proporcionalmente ligado ao aumento do risco de contração. [CESAR, NASCIMENTO, CARVALHO JR, 2013].

Sua participação também afeta a geração fotovoltaica, mesmo que não seja a principal preocupação em relação aos particulados, sua presença diminui a incidência solar na superfície terrestre, essa porcentagem deixa de ser usada pela placa solar, que não converte essa quantidade em energia elétrica, aumentando perdas na geração.

Na figura 8 podemos quantificar a quantidade de material particulado no território brasileiro, é possível notar que em locais de grande atividade urbana a quantidade de  $\text{ug}/\text{m}^2$  deixa de ser boa e passa a ser ao menos moderada, em determinados locais essa quantidade passa do aceitável, chegando a escala de péssimo e crítico.



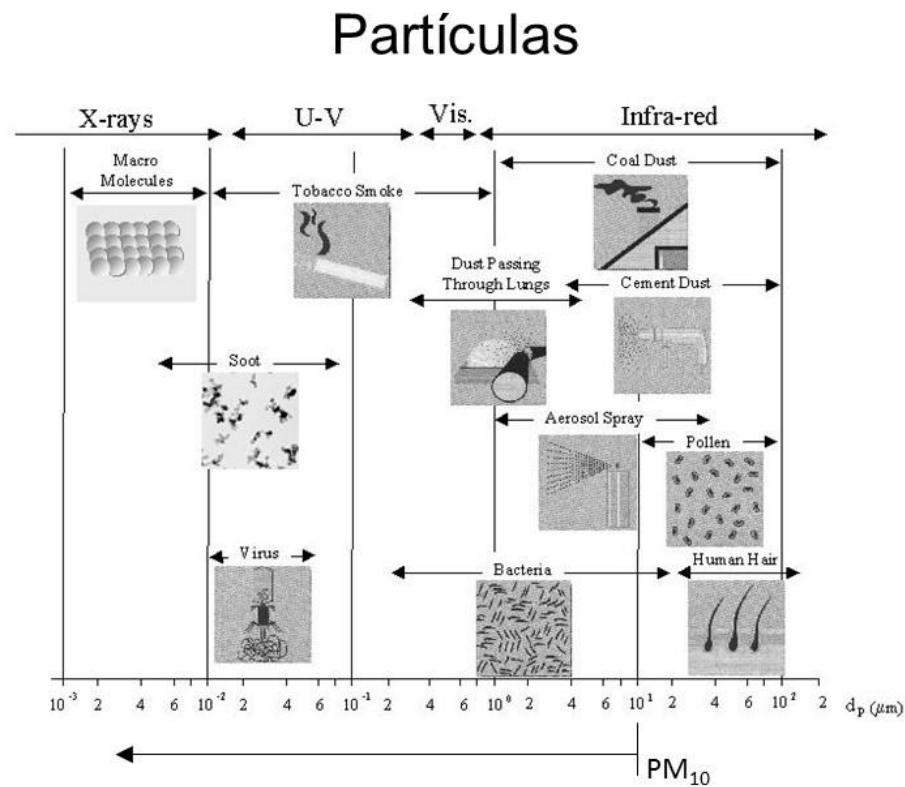
**Figura 8 – Mapa de concentração de particulados (Fonte: CPTEC, 2018)**

### 3.4. Classificação

Para quantificar os elementos presentes, é preciso diferenciar o material particulado grosso do fino, o material grosso compõe cerca de 30% das partículas totais em suspensão (PTS), já o fino é 70% desse total. No fino, os principais compostos são: Sulfatos, amônia, carbono elementar, alguns metais de transição, ácido nítrico e compostos orgânicos semivoláteis e não voláteis. O material grosso é dividido basicamente em: Óxidos de silício, alumínio, cálcio, magnésio e ferro, partículas orgânicas biogênicas (pólen, esporos, pequenos pedaços de plantas). Na



figura 9 é possível encontrar alguns exemplos de acordo com o seu tamanho. [LORENA, MARTINS, 2016]



**Figura 9 – Tamanhos de diferentes tipos de particulados (Fonte: BRASIL, 2000)**

Existem ainda os particulados de fonte natural, esses aerossóis podem ser poeira trazida pelo vento, sais marinhos, pólen, cinzas de vulcões ou bio-degradações de vegetais e animais, ainda também na evapotranspiração das florestas. [PESTANO, 2006; PROSPERO et al, 2004]

Outros tipos de fonte, mas que são de origem do homem, são as queimadas de biomassa, emissão de motores veiculares, emissões em parques energéticos, inclusive, a própria fala, tosse e limpeza de ambientes. Segundo Manahan (2001), existem os particulados formados por reações atmosféricas, os que se originam por atividades humanas e os naturais

Para a análise correta é preciso avaliar cada um dos tipos de particulados. Em algumas regiões, a grande circulação de carros e fábricas atenuam essa quantidade,

temos também regiões litorâneas que recebem o sal marinho, a umidade do ar também pode afetar, ou também o fato da região for predominantemente do cerrado, mata atlântica ou outro, o que está ligado aos fatores já citados.

### **3.5. Influência na incidência solar**

Além das fatores iniciais como, incidência no local da placa, temperatura local, ângulo de inclinação de instalação da placa, existem ainda as barreiras que a radiação deve seguir até chegar ao sistema fotovoltaico e que os particulados fazem parte.

Não se deve considerar esses particulados apenas como substâncias que sejam nocivas ao ser humano, como foi citado, são uma mistura de fatores naturais e antropológicos. Ao analisar uma área pode ser encontrado inclusive pequenas partículas de água que são trazidas pelo vento, areia originada de desertos ou cinzas de vulcões, que podem ficar em suspensão por semanas e se deslocar milhares de quilômetros.

Os autores citados a seguir, nesta revisão, foram escolhidos dentre vários para apresentar novas ideias e cálculos não muito comuns. Com a finalidade de calcular a perda de incidência solar em placas fotovoltaicas, as teorias são muitas e alguns experimentos foram realizados para confirmar tais teorias, esse tipo de estudo ainda pode ser aprofundado em diferentes caminhos e pode ser estimulado inclusive no valor, que ainda é alto mas segue diminuindo ao decorrer dos últimos anos.

Em alguns artigos, os cálculos realizados foram obtidos através de comparações, tanto na influência de materiais suspensos ou depositados durante certo período de tempo, para que não houvesse erros maiores na influência encontrada, pois a perda e o aumento de incidência em uma placa solar é constante e não depende de poucos fatores, como é apresentado na figura 6 (Radiação refletida), temos diversos componentes que refletem a incidência.

Na pesquisa de Oliveira (1996), a comparação foi feita em duas cidades, São Paulo e Botucatu, com dados obtidos por vários meses, foi possível notar a diferença que a presença de particulados causa, no caso de São Paulo a quantidade é maior. Porém, com a soma de efeitos naturais, como chuvas e frentes frias, houve um

aumento de particulados suspensos, durante um certo período de tempo, esse aumento causou a maior perda durante a pesquisa que foi avaliada em 18%.

Um caso de particulados naturais são os fungos, sua participação é suficiente para que sejam considerados um problema tanto respiratório quanto fotovoltaico. Ao se depositarem, podem se propagar em grandes tecidos orgânicos, caso essa superfície de contato seja uma placa solar, mais uma vez, a incidência de radiação solar será diminuída. [EMYGDIO ET. AL. 2018]

A pesquisadora Shirakawa, da USP, avaliou o crescimento de fungos nas placas solares, o experimento analisou 18 módulos fotovoltaicos que ficaram 18 meses expostos ao sol, após análise das amostras retiradas da superfície dos módulos, foi constatado que cerca de 50% dos particulados que foram depositados eram orgânicos e grande parte deles eram de fungos e bactérias, e podem diminuir em até 10% a geração de energia elétrica nos painéis fotovoltaicos. Uma limpeza periódica mas simples pode resolver tal situação. [SHIRAKAWA, 2014]

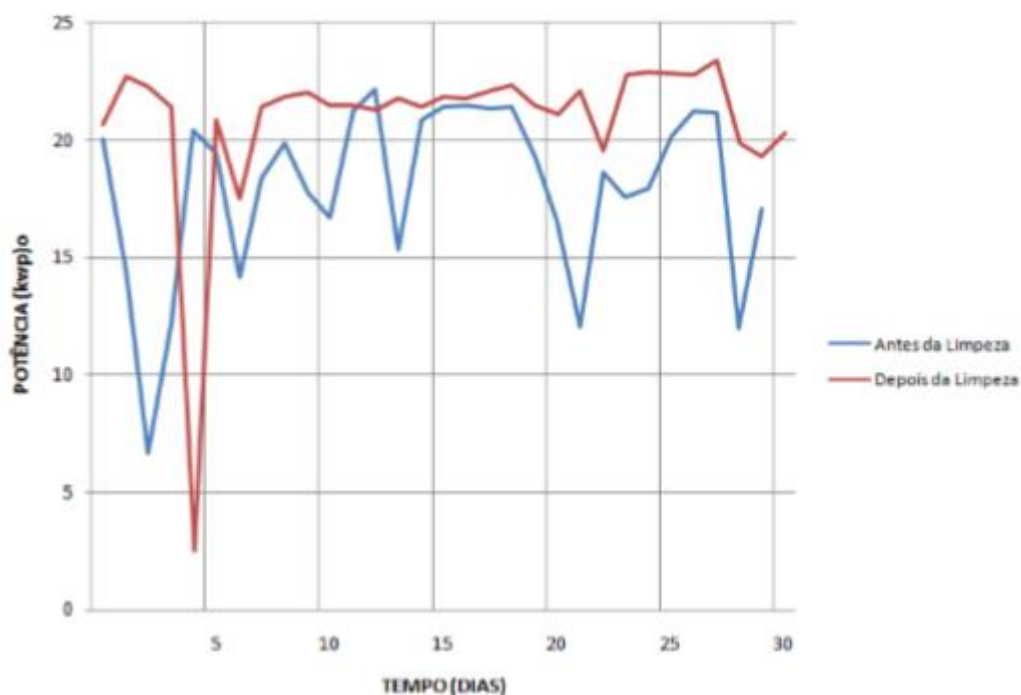
Além dos fungos, a perda de geração por materiais particulados depositados tem como caso mais simples o da poeira que se deposita sobre as placas, além de ser o mais comum, é facilmente identificado sem equipamentos. Encontrada em grande quantidade em locais sem grama ou asfalto e também em obras, devido a ação do vento ou de movimentação humana, a quantidade de particulados de poeira e terra que se mantêm no ar e se movem para outras localidades se intensifica.

Barbosa; De Faria; Gontijo (2018) tiveram métodos similares, porém, o fator influente analisado foi a poeira que se deposita regularmente nas placas. Utilizando placas de modelo Kyocera, com informações de fábrica e controle da quantidade de potência gerada, foi possível verificar essa diferença. Todas as placas foram usadas da mesma maneira, com poeira em parte do procedimento e logo após todas foram limpas periodicamente, em um período próximo do ano, onde a radiação solar local seria comparável. Na Figura 10, é notável a diferença antes e depois da limpeza, resultado da poeira depositada sobre a placa.



**Figura 10 – Comparação de placas antes depois da limpeza (Fonte: BARBOSA; DE FARIA; GONTIJO, 2018)**

Perdas significativas foram encontradas se a potência encontrada for comparada, em azul os módulos fotovoltaicos não estavam limpos e se encontravam com poeira depositada por toda as placas, ou seja, material particulado depositado. Após isso, a limpeza foi feita e é possível notar a claramente a diferença pela figura 11, a poeira forma uma camada a mais para que a radiação solar seja transformada em energia elétrica, além de também criar sombras no sistema fotovoltaico instalado.



**Figura 11 – Comparação de potência antes e depois da limpeza (Fonte: BARBOSA; DE FARIA; GONTIJO, 2018)**

#### 4. Metodologia

Inicialmente, escolheu-se como local do estudo de caso, o Distrito Federal, Cidade Satélite do Gama, para determinar a quantidade de energia solar fotovoltaica gerada em painéis. Portanto, foram feitos estudos de irradiação solar na região do DF, com auxílio do Site do CRESESB.

Para a avaliação da quantidade provável de MP sedimentável em painéis fotovoltaicos, fez-se uma análise da concentração de MP no DF, utilizando dados do CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e do Ibram – Instituto Brasília Ambiental.

Para a determinação da diminuição da geração solar com influência do MP, foram realizados experimentos com dois painéis fotovoltaicos: um com deposição de MP, e outro sem.

Os experimentos foram realizados com 2 placas do tipo Yingly TL020P – 17b de 20w cada, especificações e modelo da placa apresentadas na figura 12 e 13, respectivamente.

#### ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

##### Condições padrões de Teste (STC\*)

Máxima Potência (Pm):	20 Watts
Tolerância:	+/-5%
Voltagem de Máxima Potência (Vm) :	16.6Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	1.20 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc):	21.4 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	1.31 Amps
Voltagem Máxima do Sistema:	50 Volts
Eficiência do Pannel:	15%
Coeficiente de Temperatura da Potência(Pm):	-0,45 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Corrente(Isc):	0,06 A/°C
Coeficiente de Temperatura da Voltagem(Voc):	-0,37 V/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	46±2°C

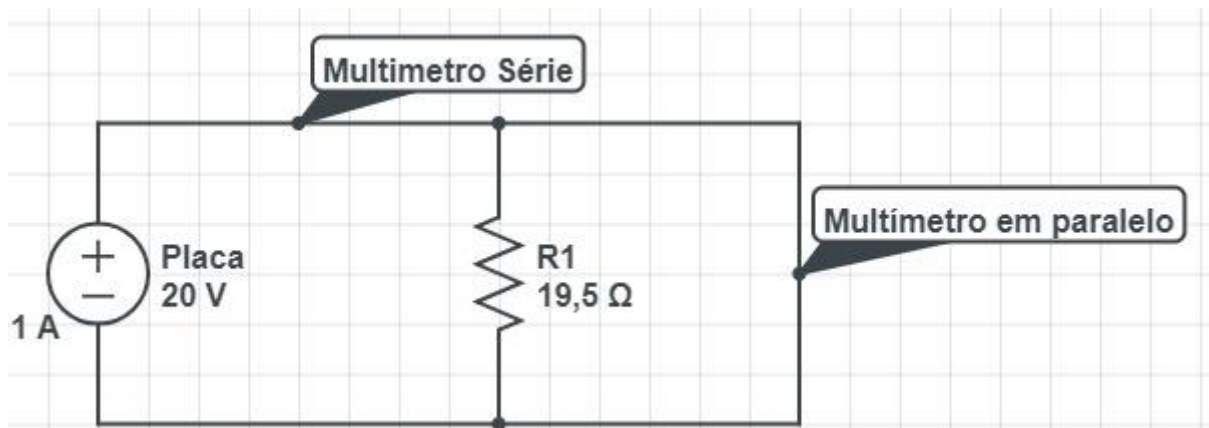
\* STC/CPT: Irradiação de 1.000 W/m², Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C

**Figura 12 – Especificações técnicas da placa solar (Fonte: NEOSOLAR, 2018)**



**Figura 13 – Modelo utilizado de placa solar (Fonte: NEOSOLAR, 2018)**

Dois multímetros foram ligados em cada uma das placas, um deles em paralelo e outro em série, para que fosse possível medir corrente e tensão do sistema, o esquema do circuito se encontra na figura 14, sendo repetido para as duas placas da mesma maneira. Para imposição de 100% de carga à geração do sistema fotovoltaico, uma resistência de 19,5 Ohms foi conectada ao circuito.



**Figura 14 – Esquema de montagem do circuito usado. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**



**Figura 15 – Placa ligada aos multímetros e resistência. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**

A estrutura de apoio das placas e multímetros foi colocada no telhado da Unidade de Ensino e Docência (UED) da Universidade de Brasília no Campus do Gama, com acesso restrito e uma altura de mais de 15 metros, sem intervenções que pudessem atrapalhar o experimento.



**Figura 16 – Local de realização do experimento. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**



Essa estrutura, feita de canos de PVC, foi coberta lateralmente e na parte superior com lona transparente, para que não impedisse a entrada de luz para a obtenção dos valores e para proteção contra a chuva. Uma placa de metal foi apoiada acima dessa estrutura de PVC para que fosse possível posicionar as placas, que com a ajuda de alguns apoios de madeira puderam ficar com os  $16^\circ$  graus desejados. Para que nenhum componente fosse molhado, uma malha de ferro foi colocada abaixo de todo o equipamento, além de apoios para cada um.



**Figura 17 – Estrutura montada para o experimento. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**

Um isolamento térmico foi feito mantendo um prato cerâmico entre os resistores e a superfície de apoio dos painéis, pois os resistores atingiram altas temperaturas, juntamente com a alta incidência solar durante o experimento.

Os dois painéis fotovoltaicos foram orientados a  $0^\circ$  em relação ao Norte verdadeiro, e inclinados em um ângulo de  $16^\circ$  em relação ao solo, situação em que a incidência solar é melhor aproveitada nas coordenadas em que o experimento foi realizado.

Para estudo da deposição de MP, foram utilizadas partículas coletadas *in loco* no Campus UnB Gama, e posteriormente depositadas sobre o painel. O procedimento de deposição de MP será detalhado mais à frente neste capítulo.

Os valores de corrente e tensão foram medidos entre 8h00 e 14h00 simultaneamente nos dois painéis. A aquisição dos valores de corrente e tensão foi



feita com o auxílio de uma câmera instalada na estrutura de apoio, e apontada para os multímetros. Quinze valores de tensão e corrente eram amostrados em frequência de 1 minuto, no intervalo de leitura de meia hora.

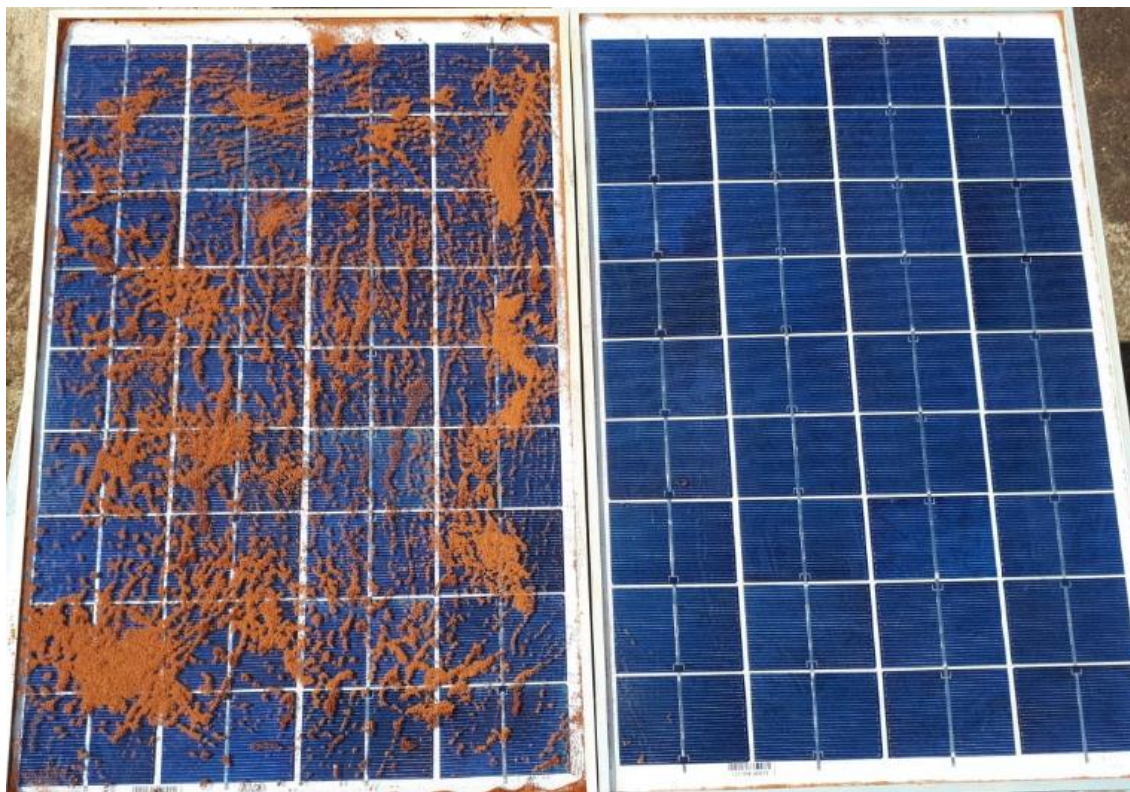
Para início no experimento, verificou-se se as duas placas estavam apresentando potências semelhantes. Posteriormente, sobre um painel, era depositado o material particulado coletado, enquanto que o outro painel permanecia limpo sem a presença desse material.

O material a ser depositado sobre o painel, foi escolhido como sendo o próprio material particulado sedimentável do ambiente natural do Campus, constituído de terra e areia de áreas próximas, para que se chegasse mais próximo à realidade do local de experimento. Esse material foi peneirado para se obter apenas o material mais fino, já que apenas os menores particulados são facilmente deslocados com a ajuda do vento ou ações humanas, os mais pesados e maiores tendem a cair rapidamente e não chegam às alturas e distâncias maiores que possam depositar nas placas instaladas em um local elevado.

O material particulado era depositado em quantidades controladas e previamente medidas, para que fosse possível analisar a relação entre a quantidade de particulados depositados e a eficiência da placa solar. Utilizando uma balança de precisão, as amostras de particulados tinham porções de 1g, 3g, 5g, 7g, 10g, 15g, 20g e 25g.

Contudo, a maior fonte de erro do experimento da deposição de particulado era nos momentos antes e durante a deposição sobre a placa, por influência dos efeitos principalmente do vento no horário dos experimentos, por espalhar parte do material não havendo o controle preciso da quantidade depositada.

Como procedimento de deposição do material, uma porção era distribuída de forma mais uniforme possível sobre a placa e também em uma lâmina de microscópio para que fosse analisada. Posteriormente, a placa era limpa e uma nova porção depositada.



**Figura 18 – Comparação entre placa limpa e placa com particulados (Fonte: Elaboração própria, 2018)**

A potência elétrica gerada era medida ao longo de todo o experimento, nos dois painéis (com ou sem deposição).

## 5. Resultados e Discussão

Como citado anteriormente as medidas foram analisadas por cerca de 30 minutos para cada quantidade de MP depositada. Não houve a chuva durante o experimento que pudesse atrapalhar as medidas, porém em alguns momentos correntes de vento influenciaram nos dados obtidos.

Para cada quantidade de MP depositado sobre a placa, 15 medidas foram coletadas para o cálculo da potência elétrica gerada.

Mesmo com baixa incidência solar, ainda é possível obter valores satisfatórios de eletricidade gerada nos painéis. Os valores não chegam ao máximo desejado, mas a comparação entre a energia elétrica gerada nas placas ainda pode ser feita, satisfazendo o objetivo do trabalho.

Os valores obtidos foram correspondentes à tensão e corrente de cada placa, dados em Volts (V) e Amperes (A) respectivamente. O cálculo da potência (P) foi realizado com a seguinte equação:

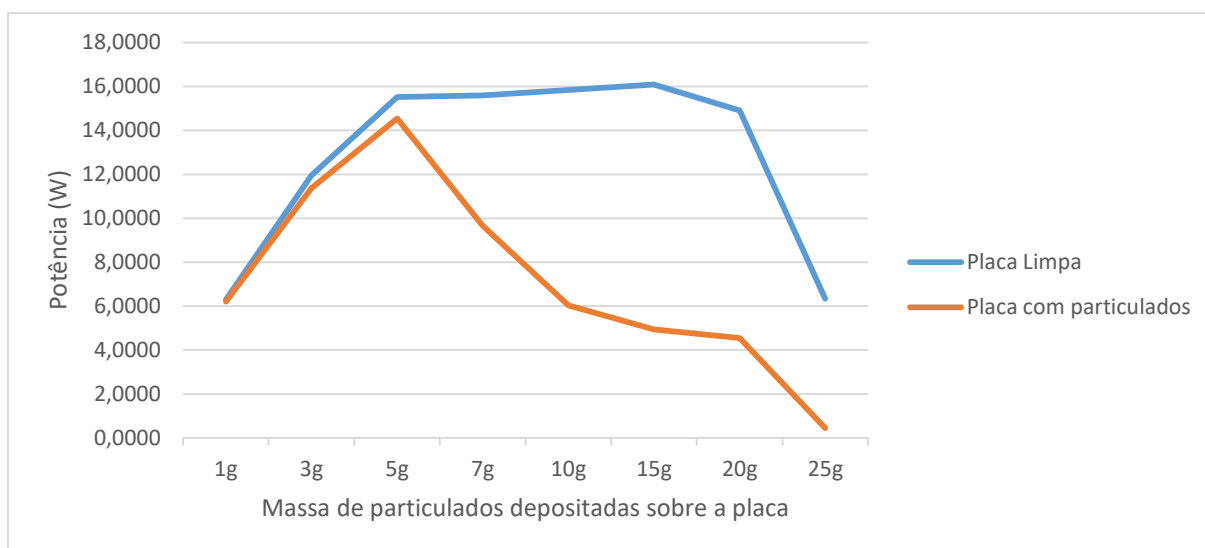
$$P = V * I$$

Onde  $P$  é a potência dada em Watts (W).

Os valores das potências calculadas estão dispostos na tabela do ANEXO I.

A figura 19 compara a potência elétrica gerada nos painéis em função do material particulado depositado. É possível observar claramente diminuição da potência elétrica gerada com o aumento de particulado depositado. Observa-se também que mesmo o painel que permaneceu limpo, teve valores de potência elétrica gerada variável em função da radiação solar incidente, mas consistentemente valores mais elevados quando comparado ao painel com MP depositado.

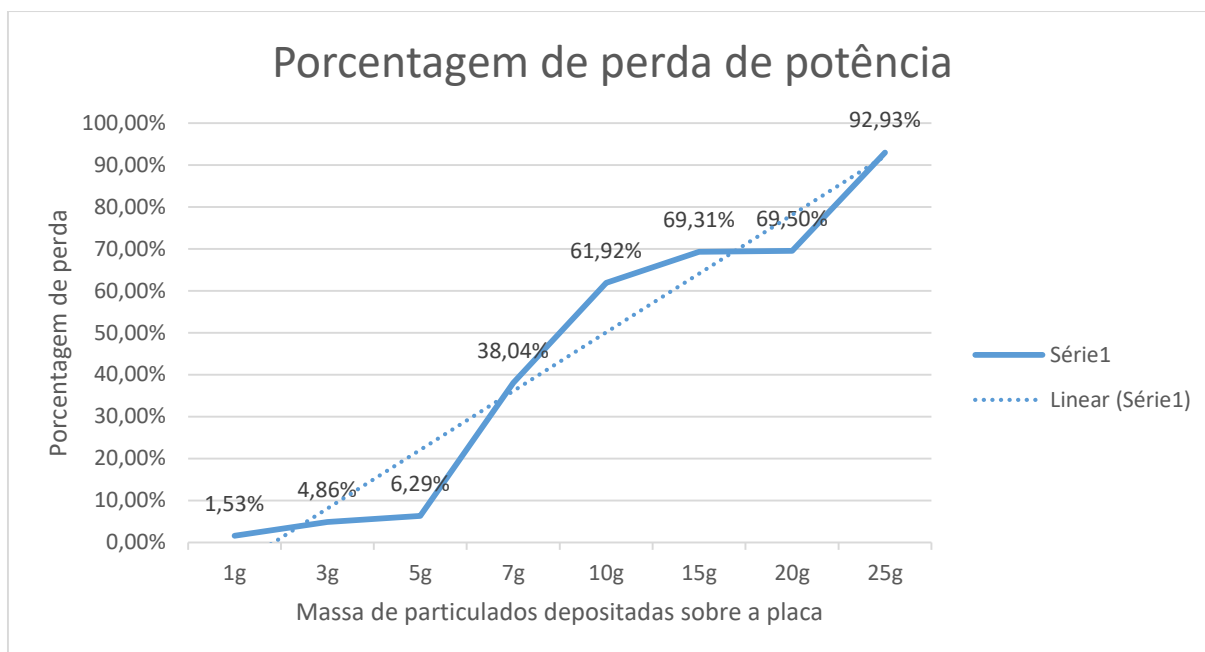
Quando a deposição foi de 5g, houve uma diminuição da potência gerada de cerca de 13%. A partir dos 5g, essa diminuição acentua de forma brusca até 93%, como pode ser visto na Figura 20.



**Figura 19 – Comparação de potência entre placa limpa e placa com particulados. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**

Com já adiantado no parágrafo anterior, a figura 19 mostra a porcentagem de perda de potência da geração da placa limpa em relação à placa com particulados. Para alta deposição de particulados, acima de 10g, valores acima de 60% de diminuição de potência gerada, são observados facilmente, independentemente da radiação solar incidente.

Ao comparar os resultados no presente trabalho com os resultados de Shirakawa (2014), pode-se supor que uma perda de geração de cerca de 10% representa uma deposição entre 5g e 7g de material particulado. Interpolando os valores de perda de geração e massa depositada, o valor de 10% de perda representa uma deposição de 5,23g.

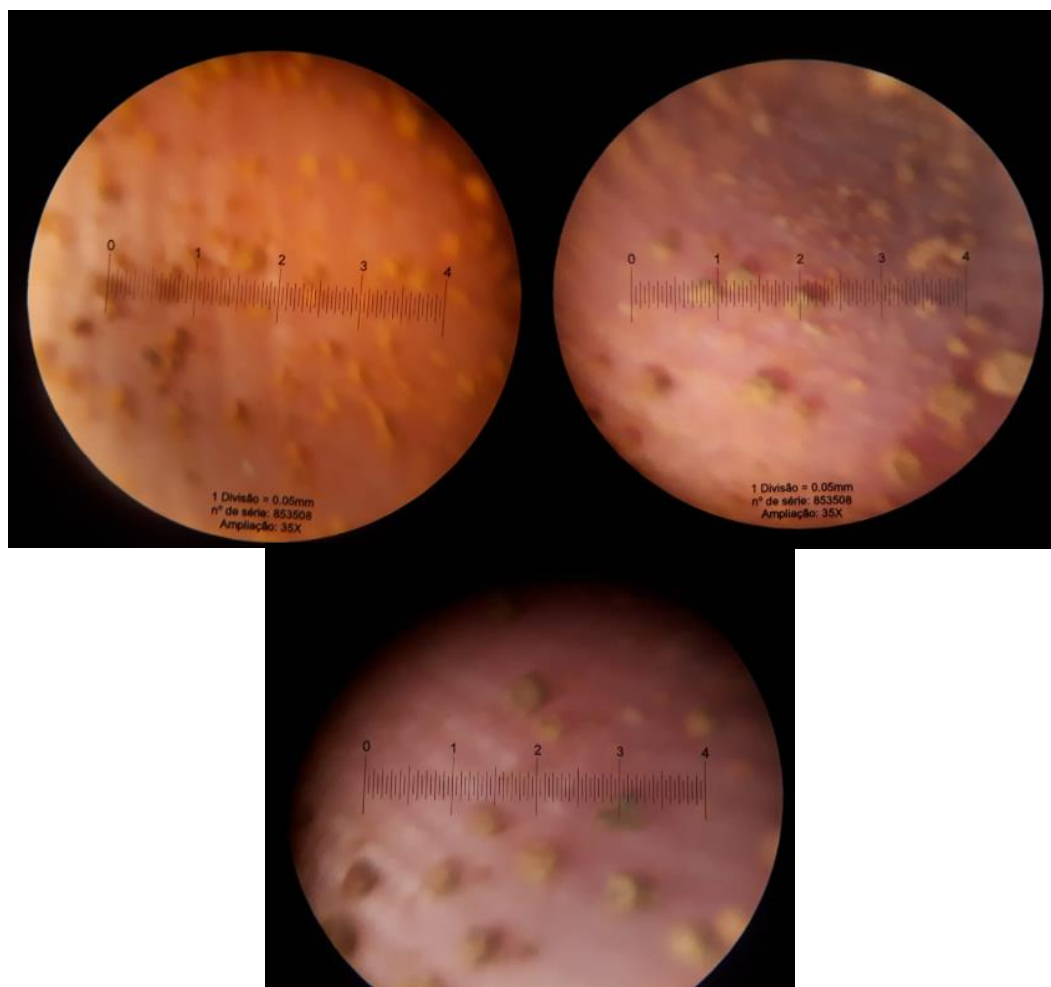


**Figura 20 – Porcentagem de perda de potência entre placa e limpa e placa com particulados.**  
(Fonte: Elaboração própria, 2018)

Há pequeno aumento da perda de potência gerada, para deposição entre 1g e 5g, mas acima de 5g de deposição a perda aumenta exponencialmente até valores acima de 90%.

As partículas coletadas no ambiente e usadas na deposição nos painéis, foram analisadas em microscópio. Como o material é uma mistura de areia e terra, ela é um particulado comum no local do experimento. Com a ajuda de uma lupa de medição, da marca Holtermann, que tem medida mínima 50 micrômetros, foi possível dimensionar o tamanho de alguns desses particulados.

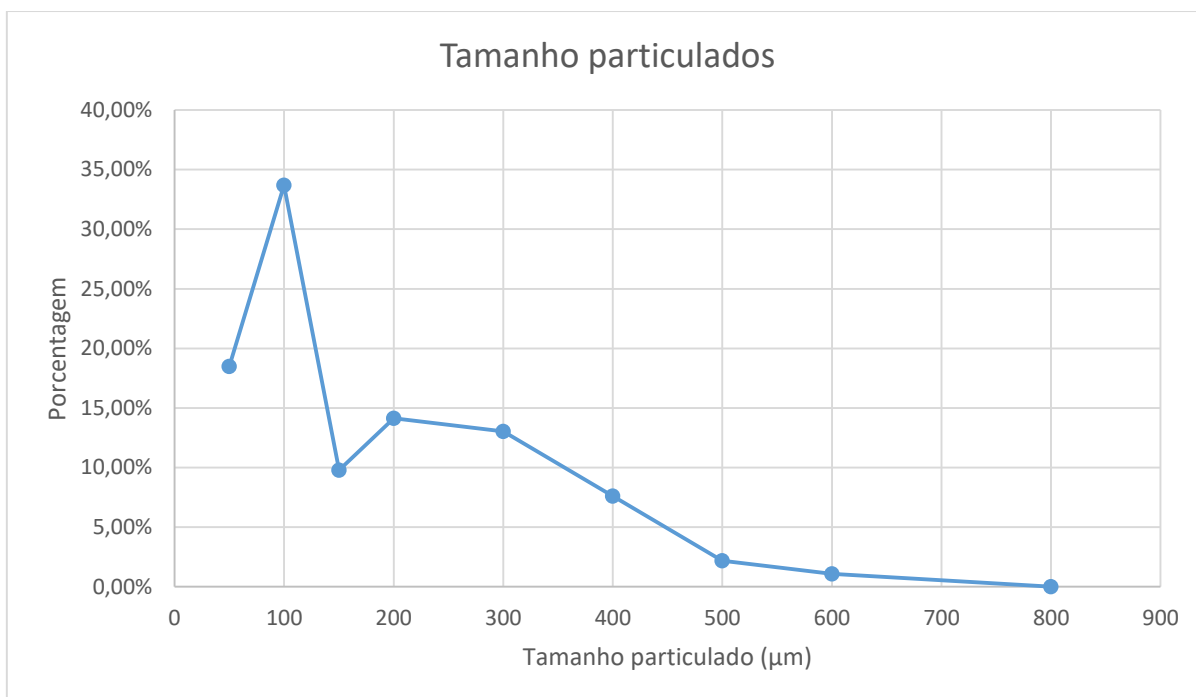
Na figura 21 é possível comparar os diferentes diâmetros encontrados nas amostras, com uma variação de diâmetros menores que 50 micrometros e que podem passar de 0,5 milímetro. Cada particulado foi medido e contabilizado para formar a tabela da figura 22 e o gráfico da figura 23, nessa tabela é possível encontrar uma porcentagem média do tamanho do diâmetro de cada uma das partículas.



**Figura 21 – Imagens dos particulados obtidas por microscopia ótica. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**

Quantidade	Diâmetro( $\mu\text{m}$ )	Porcentagem
17	50	18,48%
31	100	33,70%
9	150	9,78%
13	200	14,13%
12	300	13,04%
7	400	7,61%
2	500	2,17%
1	600	1,09%
0	800	0,00%

**Figura 22 – Tabela de medidas dos particulados obtidas por microscopia ótica. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**



**Figura 23 – Gráfico com medidas de diâmetro dos particulados. (Fonte: Elaboração própria, 2018)**

Com um total de 95 medidas, observa-se que 52% das partículas possui diâmetros menor que 100 micrômetros (0,1 milímetros). Nessa faixa de diâmetros, as partículas ainda são consideradas com material particulado (MP) e, são partículas importantes para o presente trabalho, pois são aquelas que são recolocadas em suspensão na atmosfera, por ação dos ventos e veículos, e posteriormente possivelmente depositadas em painéis fotovoltaicos.

## 6. Conclusão

O presente trabalho desenvolveu um estudo experimental e avaliou a diminuição da geração de energia elétrica, influenciada pela deposição de material particulado em painéis fotovoltaico, comparando os resultados com trabalhos já publicados. A interferência das partículas depositadas na radiação solar causa uma perda, já que a geração nas placas fotovoltaicas converte essa radiação em energia elétrica. Portanto, as principais conclusões do trabalho foram:

- Trabalhos de outros autores apontam que fungos e poeira foram fatores que influenciam na diminuição da potência elétrica gerada em painéis, Shirakawa (2014) encontra uma perda de até 10% pela deposição de fungos sobre a placa.
- A deposição de poeira também é analisada por (BARBOSA; DE FARIA; GONTIJO, 2018), a perda de potência chega a ser de 10,26%.
- Por fim, Oliveira (1996), com sua análise radiométrica conseguiu uma diminuição de radiação de 18%, apenas de particulados em suspensão, o que pode ser adicionado aos estudos anteriores.
- No presente trabalho, o vento foi o maior fator de erro do experimento realizado, por remover o material particulado depositado durante o experimento.
- A diminuição da potência elétrica gerada foi comprovada experimentalmente, com o aumento da deposição de particulados.
- Mesmo para diferentes níveis e radiação solar incidente, houve a diminuição da potência elétrica gerada, pela deposição de particulados
- Para menores quantidades, até 1g de partículas depositadas, a perda é baixa, com apenas 1% de diminuição da potência gerada, mas tal perda de potência passa dos 60% para deposição de 10g, 15g e 20g, e pode chegar até 92% com 25g de deposição
- Foi possível comparar o experimento realizado nesse trabalho com a perda encontrada por Shirakawa (2014). Para uma perda de 10% que foi encontrada



no presente estudo indica que seria necessária uma deposição de 5,23g de material particulado.

- Através de microscopia ótica, foi possível analisar amostras da dimensão do material particulado depositado na placa fotovoltaica. 52% das partículas possui diâmetros abaixo de 100 micrômetros (0,1 milímetros).

## 7. Bibliografia

- BARBOSA, E.R; DE FARIA, M.S.F; GONTIJO, F.B. Influência da sujeira na geração fotovoltaica. VII Congresso Brasileiro de energia solar. Gramados, 2018.
- BEN. **Balanco Energético Brasileiro.** Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2017\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf)> Acesso em: 14 de junho.
- Blue Sol Energia Solar. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica – livro digital de introdução aos sistemas solares.** São Paulo, 2016. 111p.
- Brasil, A. Morphological Characterization of Fractal-like Aggregates. 2000. Dissertação doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Técnica de Lisboa.
- CESAR, Ana Cristina Gobbo; NASCIMENTO, Luiz Fernando C; CARVALHO JR, João Andrade de. **Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças.** Rev. Saúde Pública, São Paulo , v. 47, n. 6, p. 1209-1212, Dec. 2013 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89102013000601209&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102013000601209&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 Nov. 2017.
- CORDANI, Umberto G.; MARCOVITCH, Jacques; SALATI, Eneas. **Avaliação das ações brasileiras após a Rio-92.** Estud. av., São Paulo , v. 11, n. 29, p. 399-408, abr. 1997 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141997000100019&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100019&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 4 out. 2017.
- CPTEC. **Qualidade de ar, material particulado.** Disponível em: <<http://meioambiente.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 12 de maio
- CRESESB. **Potencial solar Sun Datav 3.0.** Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 12 de maio
- Emygdio, Ana Paula & Andrade, Maria & Gonçalves, Fábio & Engling, Guenter & Henrique de Souza Zanetti, Rafael & Kumar, Prashant. (2018). **Biomarkers as indicators of fungal biomass in the atmosphere of São Paulo, Brazil.** Science of The Total Environment. 612. 809–821. 10.1016/j.scitotenv.2017.08.153.

- LORENA, S. MARTINS, E. **Poluição Atmosférica Poluentes Particulados e Gasosos.** Disponível em: <<http://www.semanadaquimica.org/semana17/material/ambiental02.pdf>> Acesso em 14 de out de 2017
- MANAHAN, S. E. Fundamentals of Environmental Chemistry. 2ª ed. Boca Raton, CRC Press LLC; 2001.
- MME - Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e Mundo** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Acesso em 26 de out de 2017.
- MME - Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira.** Edição junho de 2017. Disponível em <[www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0)>. Acesso em 4 out. 2017.
- NEOSOLAR. **Painel solar fotovoltaico.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl020p-17b-20wp.html>>. Acesso em 16 set. 2018.
- Notas de aula. **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica.** Professora: Eliane Aparecida Faria Amaral Fadigas, São Paulo, 2017.
- Notas de aula. **Radiação solar.** Professor: Emerson Galvani, São Paulo, 2014
- Oliveira, Amauri & Escobedo, João & Plana-Fattori, Artemio & Soares, Jacyra & P. M., Santos. (1996). Medidas de Radiação Solar Na Cidade de São Paulo: Calibração de Piranômetros e Aplicações Meteorológicas. Revista Brasileira de Geofísica. 14. 203 - 216.
- PEREIRA, E. B. et. al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** Disponível em <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)> Acesso em 15 de maio de 2018.
- PESTANO, A. F. As faces da nuvem de poeira: Natureza em Cuba. Revista Com Ciência Ambiental, São Paulo, ano 1, n. 4, p. 34-35, outubro 2006.

- Portal energia. **Fontes de energia renováveis e não renováveis.** Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>>. Acesso em 6 de out. de 2017.
- Portal Solar. **Como funciona o painel solar fotovoltaico.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em 5 de out de 2017
- Portal Solar. **Modelos de placas solares.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/modelos-de-placa-solar.html>> Acesso em 10 de out 2017
- Portal Solar. **Energia Fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>> Acesso em 10 de out de 2017
- REAL CLIMATE. **New Climate Science MOOCs.** Disponível em : <<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/02/new-climate-science-moocs/>> Acesso em 13 de junho
- Shirakawa, M.A. **Microorganismos podem reduzir produção de energia solar.** Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=181209>> Acesso em: 10 de junho
- Tavares, M. **Aprendendo sobre o sol.** Instituto de física – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. Março de 2000.

## Anexo

Placa Limpa	Gramas	1	3	5	7	10	15	20	25
Tensão	1	9,2	12,8	17,5	17,4	17,5	17,9	18	10,6
	2	9,3	12,4	17,6	17,3	17,5	18	17,9	11,2
	3	9,3	12,1	17,5	17,2	17,7	17,9	17,9	11,5
	4	9,3	12,2	17,5	17,4	17,6	17,9	18	11,3
	5	9,4	12,6	17,5	17,4	17,6	18	17,9	11,1
	6	9,5	13,4	17,5	17,5	17,6	18	18	11,1
	7	10,8	14,7	17,4	17,5	17,7	17,9	18,1	11,4
	8	11,3	16,1	17,5	17,6	17,7	18	18,1	11,2
	9	11,8	16,7	17,5	17,5	17,6	17,6	17,9	11,3
	10	12,2	17,5	17,6	17,6	17,6	17,7	16,1	11,1
	11	12,4	17,8	17,5	17,6	17,7	17,6	15,7	10,8
	12	12,9	18,1	17,5	17,6	17,7	17,7	14,4	10,7
	13	13,2	18,2	17,5	17,5	17,6	17,8	14,4	11,8
	14	14,1	18,3	17,4	17,6	17,6	17,6	17,7	11,7
	15	14,9	18,3	17,5	17,6	17,7	17,7	17,3	11,5
	11,3 1		15,41	17,50	17,49	17,63	17,82	17,16	11,22

Placa Limpa	Gramas	1	3	5	7	10	15	20	25
Corrente	1	0,44	0,64	0,89	0,89	0,89	0,91	0,91	0,54
	2	0,44	0,62	0,88	0,88	0,9	0,91	0,91	0,57
	3	0,45	0,61	0,88	0,88	0,91	0,91	0,91	0,58
	4	0,45	0,62	0,88	0,89	0,9	0,91	0,91	0,57
	5	0,45	0,63	0,88	0,89	0,9	0,91	0,91	0,56
	6	0,46	0,67	0,89	0,88	0,9	0,9	0,91	0,56
	7	0,53	0,73	0,88	0,89	0,91	0,9	0,92	0,57
	8	0,56	0,81	0,89	0,89	0,9	0,91	0,92	0,55
	9	0,57	0,84	0,89	0,9	0,9	0,89	0,91	0,57
	10	0,6	0,88	0,89	0,9	0,89	0,9	0,82	0,56
	11	0,63	0,9	0,89	0,9	0,9	0,9	0,79	0,54
	12	0,65	0,92	0,89	0,9	0,9	0,9	0,73	0,54
	13	0,67	0,92	0,89	0,89	0,89	0,91	0,73	0,59
	14	0,7	0,92	0,89	0,9	0,9	0,89	0,87	0,59
	15	0,76	0,92	0,89	0,9	0,89	0,9	0,88	0,58
	0,56		0,78	0,89	0,89	0,90	0,90	0,87	0,56

Placa com particulados										
	Gramas	1	3	5	7	10	15	20	25	
Tensão	1	8,9	11,9		16	11,8	9,3	9,2	9,2	2,5
	2	9	11,6		16,4	11,8	9,3	9,3	9,2	2,6
	3	8,9	11,3		16,4	11,9	9,4	9,2	9,3	2,7
	4	9	11,5		16,5	12,3	9,5	9,3	9,3	2,2
	5	9,1	12		16,9	12,4	9,6	9,3	9,3	2,6
	6	9,2	12,8		17,1	12,5	10,1	9,3	9,3	2,7
	7	10,5	13,9		17,2	13,2	10,6	9,2	9,4	2,8
	8	11,2	15,5		17,1	13,4	11,6	9,3	9,4	2,8
	9	11,7	16,3		17,2	14,3	12,2	9,5	9,6	3,3
	10	12,1	17,3		17,4	14,8	12,1	9,9	8,8	2,6
	11	12,4	17,8		17,5	15,5	12,3	10,3	10,2	2,6
	12	12,9	18		17,5	15,7	12,2	10,6	10	2,2
	13	13,3	18,1		17,4	16	12,2	10,8	8,8	4,5
	14	14	18,3		17,5	16,1	12,1	11,6	11	4,6
	15	15	18,3		17,5	16,2	12,4	12,2	11,3	5,1
		11,1								
		5	14,97		16,93	13,86	10,99	9,93	9,61	3,05

Placa com particulados										
	Gramas	1	3	5	7	10	15	20	25	
Corrente	1	0,44	0,6		0,81	0,59	0,46	0,46	0,46	0,12
	2	0,44	0,58		0,83	0,59	0,47	0,46	0,46	0,13
	3	0,44	0,57		0,83	0,6	0,47	0,46	0,46	0,12
	4	0,45	0,58		0,83	0,62	0,48	0,47	0,46	0,1
	5	0,45	0,61		0,85	0,63	0,48	0,47	0,46	0,12
	6	0,46	0,65		0,86	0,63	0,51	0,46	0,46	0,13
	7	0,53	0,7		0,86	0,67	0,53	0,46	0,47	0,13
	8	0,56	0,79		0,87	0,68	0,59	0,46	0,47	0,13
	9	0,57	0,83		0,87	0,72	0,6	0,47	0,48	0,16
	10	0,6	0,88		0,87	0,73	0,6	0,5	0,44	0,13
	11	0,63	0,9		0,88	0,78	0,61	0,52	0,51	0,13
	12	0,65	0,92		0,88	0,79	0,62	0,54	0,5	0,11
	13	0,67	0,92		0,88	0,8	0,6	0,54	0,46	0,22
	14	0,71	0,93		0,88	0,81	0,59	0,58	0,5	0,22
	15	0,75	0,93		0,88	0,82	0,62	0,61	0,51	0,25
		0,56	0,76		0,86	0,70	0,55	0,50	0,47	0,15

Potencia  
placa limpa

Pot1	1	3	5	7	10	15	20	25
1	4,0480	8,1920	15,5750	15,4860	15,5750	16,2890	16,3800	5,7240
2	4,0920	7,6880	15,4880	15,2240	15,7500	16,3800	16,2890	6,3840
3	4,1850	7,3810	15,4000	15,1360	16,1070	16,2890	16,2890	6,6700
4	4,1850	7,5640	15,4000	15,4860	15,8400	16,2890	16,3800	6,4410
5	4,2300	7,9380	15,4000	15,4860	15,8400	16,3800	16,2890	6,2160
6	4,3700	8,9780	15,5750	15,4000	15,8400	16,2000	16,3800	6,2160
7	5,7240	10,7310	15,3120	15,5750	16,1070	16,1100	16,6520	6,4980
8	6,3280	13,0410	15,5750	15,6640	15,9300	16,3800	16,6520	6,1600
9	6,7260	14,0280	15,5750	15,7500	15,8400	15,6640	16,2890	6,4410
10	7,3200	15,4000	15,6640	15,8400	15,6640	15,9300	13,2020	6,2160
11	7,8120	16,0200	15,5750	15,8400	15,9300	15,8400	12,4030	5,8320
12	8,3850	16,6520	15,5750	15,8400	15,9300	15,9300	10,5120	5,7780
13	8,8440	16,7440	15,5750	15,5750	15,6640	16,1980	10,5120	6,9620
14	9,8700	16,8360	15,4860	15,8400	15,8400	15,6640	15,3990	6,9030
15	11,3240	16,8360	15,5750	15,8400	15,7530	15,9300	15,2240	6,6700
Média	6,3016	11,9505	15,5167	15,5981	15,8405	16,0974	14,9063	6,3356

Potência  
placa com  
particulados

Pot2	1g	3g	5g	7g	10g	15g	20g	25g
1	3,9160	7,1400	12,9600	6,9620	4,2780	4,2320	4,2320	0,3000
2	3,9600	6,7280	13,6120	6,9620	4,3710	4,2780	4,2320	0,3380
3	3,9160	6,4410	13,6120	7,1400	4,4180	4,2320	4,2780	0,3240
4	4,0500	6,6700	13,6950	7,6260	4,5600	4,3710	4,2780	0,2200
5	4,0950	7,3200	14,3650	7,8120	4,6080	4,3710	4,2780	0,3120
6	4,2320	8,3200	14,7060	7,8750	5,1510	4,2780	4,2780	0,3510
7	5,5650	9,7300	14,7920	8,8440	5,6180	4,2320	4,4180	0,3640
8	6,2720	12,2450	14,8770	9,1120	6,8440	4,2780	4,4180	0,3640
9	6,6690	13,5290	14,9640	10,2960	7,3200	4,4650	4,6080	0,5280
10	7,2600	15,2240	15,1380	10,8040	7,2600	4,9500	3,8720	0,3380
11	7,8120	16,0200	15,4000	12,0900	7,5030	5,3560	5,2020	0,3380
12	8,3850	16,5600	15,4000	12,4030	7,5640	5,7240	5,0000	0,2420
13	8,9110	16,6520	15,3120	12,8000	7,3200	5,8320	4,0480	0,9900
14	9,9400	17,0190	15,4000	13,0410	7,1390	6,7280	5,5000	1,0120
15	11,2500	17,0190	15,4000	13,2840	7,6880	7,4420	5,7630	1,2750
Média	6,2050	11,3698	14,5401	9,6650	6,0317	4,9402	4,5472	0,4478